

Diagnose von Emerging Science: die Fälle "New Science of Networks" und Szientometrie

Lietz, Haiko

Veröffentlichungsversion / Published Version
Sammelwerksbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Lietz, H. (2013). Diagnose von Emerging Science: die Fälle "New Science of Networks" und Szientometrie. In H. P. Ohly (Hrsg.), *Wissen - Wissenschaft - Organisation: Proceedings der 12. Tagung der Deutschen Sektion der Internationalen Gesellschaft für Wissensorganisation* (S. 357-371). Würzburg: Ergon-Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-47000-9>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Diagnose von Emerging Science

Die Fälle "New Science of Networks" und Szientometrie

Haiko Lietz

Institut für Forschungsinformation und Qualitätssicherung, Kompetenzzentrum
Bibliometrie

Universität Duisburg-Essen, Institut für Soziologie
Hochschule Mittweida, Fakultät Mathematik/Naturwissenschaften/Informatik

Zusammenfassung:

Was ist Emerging Science, und wie lässt sich messen, ob es sich bei einem Fachgebiet um Emerging Science handelt oder nicht? Häufig wird Emerging Science als Forschungsfront mit Hilfe verschiedener Verfahren der Zitationsanalyse diagnostiziert. Bettencourt et al. verwenden Kollaborationsanalysen und legen das Augenmerk auf eine strukturelle Diagnose des Emergenzprozesses an sich. Dem Modell nach zeigt sich die Etablierung eines Paradigmas in einem Fachgebiet in Form einer topologischen Veränderung seiner Sozialstruktur. In der vorliegenden Arbeit wird das Modell auf die „New Science of Networks“ und das Fachgebiet der Szientometrie angewendet. Erwartungsgemäß zeigen sich Unterschiede in ihren Evolutionsprozessen. Modell und Methoden der Netzwerkanalyse werden vor dem Hintergrund der Wissenschaftsforschung, der Komplexitätstheorie und der Relationalen Soziologie diskutiert. Besondere Berücksichtigung findet dabei die Selbstähnlichkeit des Wissenschaftssystems. Diskutiert werden auch die Auswirkungen unterschiedlicher Zählmethoden auf die Ergebnisse der Untersuchungen.

1. Einleitung

Was ist Emerging Science, und wie lässt sich messen, ob es sich bei einem Fachgebiet um Emerging Science handelt oder nicht? Ansätze zu Antworten auf diese Fragen finden sich in den Klassikern der Wissenschaftsforschung, insbesondere bei Price, der das Wachstum der Wissenschaft studiert (1974) und den Begriff der Forschungsfront geprägt (1965) hat. Eine Forschungsfront als identifizierbarer Teil von Emerging Science ist demnach die kleine Menge wissenschaftlicher Publikationen – und die zugehörigen Wissenschaftler – eines Gebiets, die sich durch starke gegenseitige Zitierung von den restlichen Veröffentlichungen abhebt. Ein anderer Ansatz findet sich bei Kuhn (1973), der den *modus operandi* der normalen Wissenschaft sowie gelegentliche Paradigmenwechsel, bei denen eine neue Ordnung entsteht, beschrieben hat. Die herrschende Ordnung leitet Wissenschaftler bei ihrer Arbeit, etwa in ihrem Zitierverhalten (Small 1980), was wiederum Hinweise auf Forschungsfronten liefern kann. Entsprechend häufig ist Emerging Science mit Hilfe verschiedener Verfahren der Zitationsanalyse diagnostiziert worden (Persson 1994; White/McCain 1998; Lazer et al. 2009; Shibata et al. 2009). Doch sind auch semantische Verfahren (Courtial 1994), Mapping-Verfahren (Börner/Scharnhorst 2009) oder Kombinationen von Verfahren (Chen 2005; Besselaar/Heimeriks 2006) angewandt worden.

Einen innovativen Beitrag zur Beantwortung der eingangs dargestellten Fragen haben Bettencourt et al. geleistet. Sie haben für mehrere Fachgebiete gezeigt, dass sich deren exponentielles bzw. logistisches Wachstum gut durch ein Diffusionsmodell beschreiben lässt (2006, 2008) und dass sich in ihren Evolutionsprozessen topologische Veränderungen in ihren Kollaborationsstrukturen vollziehen. Diese sind messbar in Form einer

Verdichtung von Koautorennetzwerken sowie der Herausbildung einer *Gigantischen Komponente*, in der ein Großteil aller Autoren des Gesamtnetzwerks mindestens indirekt miteinander kollaboriert (2009). Bettencourt et al. verstehen diese Veränderung in der Sozialstruktur als Etablierung eines Paradigmas und somit als Dynamik auf Bedeutungsebene. Das Augenmerk verschiebt sich somit von der eigentlichen Früherkennung von Forschungsfronten, hin zu einer strukturellen Diagnose des Emergenzprozesses an sich. Innovativ ist der Ansatz, da Emerging Science mit Hilfe von Kollaborations- statt Zitationsanalysen diagnostiziert wird, trotzdem aber die soziale Ebene und die Bedeutungsebene konzeptionell verbunden werden. Damit haben Bettencourt et al. die Arbeit von Price mit den heutigen technischen Möglichkeiten aktualisiert und an Kuhns Theorie angebunden.

In der vorliegenden Arbeit soll das Modell auf zwei Fachgebiete angewendet werden, wobei unterschiedliche Ergebnisse erwartet werden. Die „New Science of Networks“ (NSoN) beschäftigt sich mit der Analyse komplexer Netzwerke, ist in der Physik, Mathematik und Informatik beheimatet und hat seit der Veröffentlichung zweier einflussreicher Publikationen (Watts/Strogatz 1998; Barabási/Albert 1999) enorm an Bedeutung gewonnen (Freeman 2004; Stegbauer 2008). Zitationsanalysen (Chen 2005; Shibata et al. 2007, 2008; Lazer et al. 2009) lassen erwarten, dass die NSoN auf einem kohärenten Forschungskonzept fußt. Dieses sollte sich durch eine Gigantische Komponente in seiner Sozialstruktur identifizieren lassen. In einer weiteren Fallstudie wird die Szientometrie untersucht. Dieses Fachgebiet der Informationswissenschaft analysiert das Wissenschaftssystem unter anderem mit bibliometrischen Methoden (White/McCain 1989, 1998; Besselaar/Heimeriks 2006). Bibliometrische Untersuchungen (Schubert/Maczelka 1993; Courtial 1994; Persson 1994; Wouters/Leydesdorff 1994) haben bisher ein diffuses Bild des Fachgebiets gezeichnet. Auf dieser Basis sowie aufgrund von Experteneinschätzungen (Glänzel/Schoepflin 1994; Larsen 2008) wird nicht erwartet, dass sich auch hier eine Gigantische Komponente in seiner Sozialstruktur identifizieren lässt.

Der Beitrag ist folgendermaßen gegliedert: Im folgenden, zweiten Abschnitt wird das Modell (Bettencourt et al. 2006, 2008, 2009) vor dem Hintergrund der Wissenschaftsforschung (Goffman 1966; Kuhn 1973; Price 1974), der Komplexitätstheorie (Stauffer/Aharony 1995) und der Relationalen Soziologie (White 2008) diskutiert. Im dritten Abschnitt werden die beiden zu untersuchenden Fachgebiete vorgestellt. Im vierten Abschnitt werden Emerging Science definiert, die Abgrenzung der Fachgebiete über Schlüsselworte im *Web of Science*® eingeführt und die Methoden der Netzwerkdefinition (Newman 2001a, 2001b) und -analyse (Leskovec et al. 2005; Bettencourt et al. 2008, 2009; Dorogovtsev et al. 2008) vorgestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt und diskutiert.

2. Struktur und Dynamik der Wissenschaft

Price (1974) gehörte zu den Ersten, die darstellten, dass die Sozialstruktur und Dynamik der Wissenschaft zwei fundamentalen Gesetzmäßigkeiten unterliegt. Erstens, gemessen an ihrem Publikationsoutput wachsen Disziplinen und Fachgebiete exponentiell, bis zu einem kritischen Punkt, an dem die Wachstumsrate beginnt, wieder abzunehmen. Insgesamt ergibt sich daraus eine logistische Wachstumskurve (S-Kurve), wobei die Akkumulation mehrerer logistischer Perioden zu einer verlängerten exponentiellen Wachstumsperiode führen kann. Zweitens, die Sozial- und Konzeptstruktur des Wissenschaftssystems ist selbstähnlich, d. h. seine Strukturmerkmale sind nicht auf einer bestimmten Größenskala angesiedelt.

Selbstähnlichkeit wird allgemein durch Potenzgesetze (Mandelbrot 1987; Bak 1996) und speziell etwa durch die Skalierungsgesetze von Lotka, Zipf oder Bradford signalisiert.

Kuhn (1973) hat einen Aspekt der kulturellen Evolution wissenschaftlicher Disziplinen und Fachgebiete beschrieben. Demnach führen Perioden kumulativer Wissensproduktion (normale Wissenschaft) unausweichlich in eine Krise, wenn sich unerwartete Resultate (Anomalien) aufstürzen, die nicht mit dem vorherrschenden theoretischen Konzept (Paradigma) erklärt werden können. Der Paradigmenwechsel ist dann das relativ plötzliche und abrupte Ereignis, in dem wettstreitende Interpretationen der Anomalien zu einem neuen Paradigma perkolieren. Kuhn hat darauf hingewiesen, dass Paradigmenwechsel nicht notwendigerweise wissenschaftliche Revolutionen vom Ausmaß der Newton'schen Wende sein müssen. Auch einzelne Entdeckungen oder die Umbildung der Position einer Gruppe von 25 Personen können revolutionär sein (Kuhn 1973, S. 22, 192). Somit ist auch die Veränderungsdynamik des Wissenschaftssystems selbstähnlich.

Aus phänomenologischer Perspektive stellen die Beschreibungen von Price und Kuhn ähnliche Dynamiken dar, wenn auch auf unterschiedlichen Ebenen. Beim logistischen Wachstum ist die Zeitspanne, in der die Wachstumsrate nah am Maximum ist, verglichen mit der Gesamtlebensdauer relativ kurz. Logistisch gewachsene Fachgebiete sind daher schlagartig entstanden. Paradigmenwechsel sind ebenfalls nichtlineare Prozesse. Beides sind emergente Phänomene. Bei diesen bildet sich eine neue Qualität generell aus der Interaktion von Systemkomponenten heraus (Sawyer 2005). In anderen Worten: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Ein klassisches Beispiele emergenter Phänomene ist die Entstehung von Eis, wenn die kritische Temperatur 0°C (bei Normaldruck) unterschritten wird und Wassermoleküle aufhören, sich frei zu bewegen. In der Perkolationstheorie stellen derartige Prozesse Phasenübergänge dar, und logistische Funktionen sind ihre Signatur (Stauffer/Aharony 1995). Demnach bilden sich Prices „unsichtbare Kollegien“ aus der Interaktion der Wissenschaftler eines Fachgebiets und Kuhns Paradigmen aus der Interaktion wettstreitender Interpretationen heraus und lassen sich als Phasenübergänge interpretieren, wobei hier die Zeit die Rolle der Temperatur einnimmt (vgl. White 2008, S. 70ff).

Etwa zur selben Zeit wie Price und Kuhn hatte Goffman (1966) das Fachgebiet der Mastzellenforschung studiert und gezeigt, dass es, gemessen an der Anzahl Forscher und Publikationen, logistisch gewachsen war. Er zeigte, dass die Populationsdynamik mit einem Diffusionsmodell beschrieben werden kann, wobei die Modellannahme ist, dass neue Ideen sich von Forscher zu Forscher weiterverbreiten, in der Art, wie auch ein Virus Mitglieder einer empfänglichen Population befällt. Kürzlich haben Bettencourt et al. (2008) gezeigt, dass ein verbessertes Diffusionsmodell (2006) das (logistische) Populationswachstum sechs verschiedener Fachgebiete korrekt wiedergeben kann. Das Modell basiert auf der Annahme, dass eine wissenschaftliche Idee Individuen rekrutiert, etwa Doktoranden oder andere Wissenschaftler, die diese Idee relevant für ihre Arbeit erachten, wodurch ein Fachgebiet personell anwächst. In einer Folgeveröffentlichung (2009) haben sie diese sechs sowie zwei weitere Fachgebiete netzwerkanalytisch untersucht und gezeigt, dass es in sieben Feldern zu einer Verdichtung der Sozialstruktur und zur sprunghaften Herausbildung einer Gigantischen Komponente darin gekommen ist. Dem Modell nach spiegelt dieser Übergang von einer „flüssigen“ in eine „festere“ Phase die Diffusion eines Paradigmas und somit eine Veränderung auf kultureller Ebene der Fachgebiete wider. Im Einklang damit weist die Festkörperkernforschung, die noch keine kohärente Erklärung der Anomalien der Kalten Fusion anbieten kann, keine Verdichtung und Herausbildung einer Gigantischen Komponente auf.

Bettencourt et al. haben einen soziologisch vielversprechenden Ansatz zur Modellierung eines soziokulturellen Systems vorgeschlagen. Mit *Identity and Control* hat White (2008) eine Relationale Soziologie entwickelt, die die notwendigen Konzepte für die Verknüpfung von sozialem Handeln und kulturellen Kontingenzen bietet. Handlungseinheiten sind hier nicht prinzipiell Personen, sondern zunächst einmal *Identitäten*, die auf allen Ebenen soziokultureller Organisation angesiedelt sein können. Identitäten sind miteinander verwoben und versuchen kollektiv *Kontrolle* über ihr sonst chaotisches Umfeld zu erlangen. Indem sie interagieren, bilden sich neue, emergente Identitäten heraus, die wiederum auf einer Ebene höherer Komplexität interagieren. Emergenzprozessen stehen dabei Rückkopplungsprozesse entgegen: Emergente Ebenen wirken auf niedrige Ebenen zurück, indem sie Pfadabhängigkeiten erzeugen und Identitäten dadurch sozialstrukturell oder kulturell einschränken.

Wenn von einem Paradigma die Rede ist, das in einer Population diffundiert, so handelt es sich dabei um eine „Art und Weise“ (Kuhn 1973, S. 146), Wissenschaft zu betreiben, um eine „[Lebensweise] der Gemeinschaft“ (S. 106). Mit diesen Formulierungen geht Kuhn über seine enge Definition von Paradigma als „die ganze Konstellation von Meinungen, Werten, Methoden usw., die von den Mitgliedern einer gegebenen Gemeinschaft geteilt werden,“ (S. 186) hinaus. Geht es um seine Umsetzung, so ist ein Paradigma auch ein *Stil*: ein Prozessmuster, das in Selbstorganisation umgesetzt wird (vgl. White 2008, Kap. 4). Auf aggregierter Ebene führt ein Stil zu einer eigenen Identität des Fachgebiets und bildet somit die Brücke zwischen sozialen Handlungsstrukturen und kulturellen Bedeutungsstrukturen. Insofern ist es plausibel, dass sich die Diffusion einer gemeinsamen Vorstellung, Forschung zu betreiben, auf der Ebene der sozialen Kollaboration von Wissenschaftlern manifestiert. Mit dem Matthäus-Effekt hat Merton (1988) einen Mechanismus vorgeschlagen, wie sich die strukturelle Selbstähnlichkeit des Wissenschaftssystems über einen institutionalisierten Stil der Ressourcen- und Aufmerksamkeitskonzentration herausbilden kann (vgl. Barabási/Albert 1999; White 2008, S. 149ff).

3. Die Fälle "New Science of Networks" und Szientometrie

3.1 „New Science of Networks“ (NSoN)

Seit etwa einem halben Jahrhundert werden, in der Soziologie und Mathematik beheimatet, unter dem Namen *Social Network Analysis* (SNA) soziale Netzwerke erforscht (Freeman 2004). Ende der 90er kam es zu Durchbrüchen (Watts/Strogatz 1998; Barabási/Albert 1999) bei der in der Physik, Mathematik und Informatik beheimateten Erforschung komplexer Netzwerke. Diese *Complex Network Analysis* (CNA) grenzt sich dahingehend von der SNA ab, dass nicht mehr nur relativ kleine soziale Netzwerke studiert werden, sondern – ermöglicht durch die mittlerweile verfügbaren Datenbestände wie auch Rechnerleistungen – große komplexe Netzwerke, in deren Größenordnung sich emergente Effekte zeigen.

Tatsächlich lässt sich die zum Forschungsthema SNA zitierte Literatur in drei größere Cluster unterschiedlichen Alters unterteilen, wobei der jüngste das CNA-Paradigma enthält (Chen 2005). Nach 2000 wurden die Arbeiten der Physiker zunehmend auch in der Soziologie aufgegriffen, dabei lebten auch Klassiker wie die *Kleine Welt*-Forschung wieder auf (Lazer et al. 2009). In der Soziologie wurde dies als „Invasion der Physiker“ (Stegbauer 2008) wahrgenommen. Shibata et al. konnten anhand von Zitationsanalysen zeigen, dass diese Wahrnehmung dadurch entstand, dass “the activated center of research shifted from social science to physics, and there was a wall among domains that prevented bridging

among domains, like between articles by sociologists and articles by physicists in CN.” (2007, S. 881) Aus der SNA hervorgegangen, verselbständigte sich die CNA weitestgehend (2008). Dies legt nahe, dass sich um das CNA-Paradigma eine „New Science of Networks“ gebildet hat. Dem Modell von Bettencourt et al. nach sollte sie sich durch eine Gigantische Komponente in ihrer Sozialstruktur identifizieren lassen.

3.2 Fachgebiet der Szientometrie (FdS)

Als Fachgebiet der Informationswissenschaft analysiert die Szientometrie das Wissenschaftssystem mit hauptsächlich bibliometrischen Methoden. Neben der Szientometrie/Bibliometrie ist die Informationsbeschaffung klassischerweise das andere große Fachgebiet der Informationswissenschaft (White/McCain 1989). Diese Zweiteilung lässt sich, zumindest für das repräsentative *Journal of the American Society for Information Science* der zweiten Hälfte der 80er, sowohl hinsichtlich der zitierenden wie der zitierten Autoren bibliometrisch nachweisen (Persson 1994). Gemein ist beiden Fachgebieten im weiteren Sinn die Beschäftigung mit Literatur (White/McCain 1998). Erst ab 2000 bildete sich das dritte Fachgebiet Web Studies als Zeichen der wachsenden Rolle elektronischer Informationen heraus (Besselaar/Heimeriks 2006), eine Dynamik, die Courtial (1994) mit einer Kowortanalyse noch nicht absehen konnte.

Für die Szientometrie wurde eine Kristallisation im Laufe der 80er Jahre um das Journal *Scientometrics* herum bilanziert, ohne jedoch schon von der Etablierung eines Paradigmas sprechen zu können (Schubert/Maczelka 1993). Zwischen 1978 und 1992 hatte das Fachgebiet den Charakter einer Sozialwissenschaft, mit einer stark fragmentierten Kollaborationsstruktur, einer schwach differenzierten semantischen Struktur und relativ alten Referenzen. Homogene Zitationsgewohnheiten ließen jedoch auf eine eigene Identität des Fachgebiets schließen (Wouters/Leydesdorff 1994). Die bibliometrischen Ergebnisse aus den drei zuletzt zitierten Studien sind allerdings nur eingeschränkt aussagekräftig, da lediglich Publikationen des Journals *Scientometrics* untersucht worden sind. Den bibliometrischen Ergebnissen, die dem FdS eine eigene Identität zuweisen, widersprechen Experteneinschätzungen. Insbesondere Glänzel/Schoepflin (1994) zufolge befand sich die Szientometrie, obwohl sie rasch gewachsen war und an Aufmerksamkeit gewonnen hatte, Mitte der 90er in einer Krise: „subfields are drifting apart, the field is lacking consensus in basic questions and of internal communication, the quality of scientometric research is questioned by other disciplines.” (1994, S. 375). Doch auch 2008 kam Larsen zu dem Schluss, dass „40 years of publication counting have not resulted in general agreement on definitions of methods and terminology nor in any kind of standardization.” (S. 235) Insofern wird für die Szientometrie nicht erwartet, dass sich eine Gigantische Komponente in seiner Sozialstruktur identifizieren lässt.

4. Definition, Daten und Methoden

4.1 Arbeitsdefinition von Emerging Science

Anders als bei bestehenden Ansätzen, bei denen Forschungsfronten mittels Zitationsanalysen identifiziert werden, soll Emerging Science hier anhand von Sozialstrukturen diagnostiziert werden. Angelehnt an die Perkolationstheorie bietet sich folgende Arbeitsdefinition: Ein Fachgebiet (oder ein Teilfachgebiet) ist Emerging Science, wenn es sich am kritischen Punkt der Herausbildung einer Gigantischen Komponente

seiner Kollaborationsstruktur befindet. Kollaborationsstrukturen werden als Koautorenschaftsnetzwerke operationalisiert, wobei eine Koautorenschaft vorliegt, wenn zwei Autoren gemeinsam publiziert haben (Newman 2001a). Unter einer Komponente versteht man eine maximale Teilmenge des Netzwerks, in der alle Autoren mindestens indirekt miteinander kollaborieren. Unter der Gigantischen Komponente wird diejenige Komponente eines Netzwerks verstanden, die sich von ihrer Größe her deutlich von den nächstgroßen absetzt. Liegt eine solche Komponente vor, hat ein emergenter Prozess stattgefunden (Dorogovtsev et al. 2008).

4.2 Daten

Da emergente Effekte auf Fachgebietsebene identifiziert werden sollen, müssen die Fachgebiete möglichst vollständig erfasst werden. Eine Abgrenzung über ausgewählte, besonders wichtige Zeitschriften eines Faches (sog. Core Journals) wäre zu eingeschränkt, da auch periphere Publikationen erheblich zur Konnektivität der Netzwerke beitragen können. Daher wurden die interessierenden Gebiete über Schlüsselworte abgegrenzt und diese für die Identifizierung der relevanten Publikationen genutzt.

Die Recherchen wurden im *Web of Science*[®] des *ISI Web of Knowledge*SM durchgeführt. Verwendet wurden die Datenbanken SCI-EXPANDED und SSCI und Daten der Publikationsjahre 1900-2008. Die Schlüsselworte für die „New Science of Networks“ (NSoN) lauten:

```
Topic=("small-world network" OR "small world network" OR "small-world networks" OR "small world networks" OR "scale-free network" OR "scale free network" OR "scale-free networks" OR "scale free networks" OR "complex network" OR "complex networks")
```

Mit dieser Suchstrategie soll ausgeschlossen werden, dass rein sozialwissenschaftliche Publikationen zu „social networks“ breit erfasst werden. Insgesamt wurden 6.321 Publikationen der Dokumenttypen Article, Bibliography, Discussion, Editorial Material, Letter, Meeting Abstract, Note, Proceedings Paper und Review identifiziert.

Für das Fachgebiet der Szientometrie (FdS) wurden folgende Schlüsselworte verwendet:

```
Topic=(bibliometric* OR informetric* OR scientometric* OR "citation analys*s" OR "cocitation analys*s" OR "co-citation analys*s" OR "self citation" OR "self citations" OR self-citation OR self-citations OR "citation map*" OR "citation visuali*" OR "collaboration network" OR "collaboration networks" OR "coauthorship network" OR "coauthorship networks" OR "co-authorship network" OR "co-authorship networks" OR "journal impact factor" OR "journal impact factors" OR h-index OR "h index" OR "Hirsch index" OR "S&T indicator" OR "S&T indicators") OR [Topic=(Lotka OR Zipf OR Bradford) AND Subject Areas=(INFORMATION SCIENCE & LIBRARY SCIENCE OR COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS)]
```

Diese Schlüsselworte orientieren sich an den von Bar-Ilan (2008) verwendeten. Mit dieser Suchstrategie werden Publikationen sowohl der Grundlagen- als auch der angewandten Forschung erfasst. Um das Feld weitgehend auf die Bibliometrie zu beschränken, wurden Schlüsselworte wie *patent analys*s* und *science policy* nicht genutzt. Auch die Einschränkung der Suche nach Lotka OR Zipf OR Bradford auf die Disziplinen INFORMATION SCIENCE & LIBRARY SCIENCE OR COMPUTER SCIENCE, INFORMATION SYSTEMS führte dazu, irrelevante Publikationen, die nicht zum FdS

gehören, auszuschließen. Insgesamt wurden 4.382 Publikationen der genannten Dokumenttypen identifiziert.

Für die Koautorenanalyse wurden die Daten aufbereitet, insbesondere die Autorennamen wurden manuell bereinigt: Autoren mit identischen Familiennamen und Initialen des ersten Vornamens wurden unifiziert, sofern Koautoren-, Institutions- und Schlüsselwort-Kontexte ähnlich waren. Eine Prüfung von Autoren desselben Namens auf unterschiedliche Identitäten wurde hingegen generell nicht vorgenommen. Autoren, deren Familienname mit „von“ oder „de“ beginnt, konnten häufig unifiziert werden, wenn Leerzeichen entfernt wurden. Generell problematisch ist der Umgang mit chinesischen und koreanischen Namen. Diese wurden aus Zeitgründen nicht bereinigt.

4.3 Methoden

Ziel der Untersuchungen ist zu prüfen, ob es zu Verdichtungen von Koautorennetzwerken bis hin zur Herausbildung einer Gigantischen Komponente kommt. Zur Analyse der Netzwerkverdichtung wird eine Skalierungsanalyse verwendet (Leskovec et al. 2005; Bettencourt et al. 2009). Dabei werden die Anzahl Knoten und die Anzahl Kanten der Netzwerke einzelner Jahre nichtlinear korreliert. Ist der Exponent a des Potenzgesetzes

$$Kanten = A * (Knoten)^a$$

gleich 1, ist die Anzahl der Koautorenschaften pro Autor konstant. Für $a > 1$ ($a < 1$) liegt ein zunehmender (abnehmender) Skalenertrag vor und das Netzwerk verdichtet sich (nicht). a wird mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. A ist eine Normalisierungskonstante. Eine Verdichtung des Netzwerks ist Voraussetzung dafür, dass sich eine Gigantische Komponente herausbilden kann. Die Größe Letzterer bestimmt sich über die Anzahl Knoten in der größten Netzwerkkomponente.

Koautorenschaften werden ganz und fraktionell gezählt. Die Ergebnisse beider Zählmethoden werden miteinander verglichen. Da die reale Kollaborationsstruktur der Autoren einer Publikation nicht bekannt ist, wird eine Zusammenarbeit zwischen allen beteiligten Autoren unterstellt und entsprechend gezählt. Bei der ganzen Zählung wird allen Koautorenschaften einer Publikation der Wert 1 zugewiesen. White nennt derartige Netzwerke Kategoriennetzwerke bzw. *Catnets* (2008, S. 52ff), denn sie implizieren ein Kollaborationspotenzial im Sinne der *Kleinen Welt*, in der Netzwerknoten im Mittel über kurze Wege verbunden sind (Watts/Strogatz 1998). Offensichtlich drückt der Wert 1 jedoch keine Kommunikationslast aus, da er unabhängig von der Anzahl Koautoren ist. Um den Netzwerkkanten die probabilistische Bedeutung einer Kommunikationslast zuzuweisen, hat Newman (2001b) eine fraktionelle Zählung vorgeschlagen. In diesem Fall wird allen Koautorenschaften einer Publikation der Wert $1/(n-1)$ zugewiesen wird (n ist die Anzahl Autoren pro Publikation). Um bei fraktioneller Zählung die Messskala wieder herzustellen, werden Kanten auf ganze Zahlen gerundet.

Zur Visualisierung der Netzwerke wird der *ORA Network Visualizer* verwendet, der auf der *TouchGraph*-Technologie basiert.

5. Ergebnisse

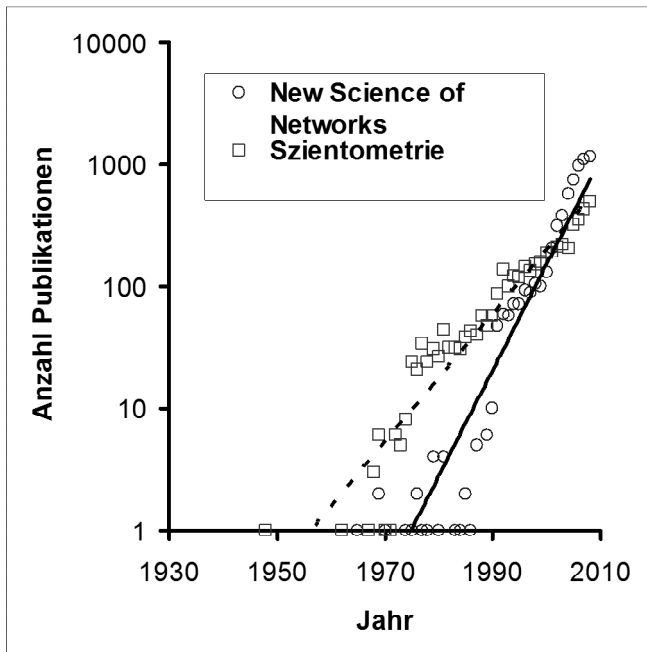


Abbildung 1: Zeitliche Evolution der Fachgebiete "New Science of Networks" (NSoN) und Szientometrie (FdS), gemessen anhand der Anzahl Publikationen pro Jahr

Die erste identifizierte Publikation der NSoN stammt aus dem Jahr 1965, die erste des FdS aus 1948. Abbildung 1 zeigt, dass die Entwicklung der NSoN später begann, das Feld dann aber deutlich schneller wuchs. 2008 wuchsen beide Fachgebiete nach wie vor exponentiell ohne Anzeichen einer Sättigung. Für die NSoN lassen sich, gemessen an der jährlichen Zunahme der Publikationen, zwei Wachstumsphasen identifizieren, die sich zu ihrem jeweiligen Ende abschwächen. Die erste begann etwa 1990 und dauerte zehn Jahre. Die zweite begann gegen 2000 und scheint sich ab 2007 abzuschwächen. Das FdS zeigt eine erste Wachstumsperiode, die etwa 1975 begonnen hat und etwa 15 Jahre andauerte, und eine zweite Periode, beginnend etwa 1991, die ebenfalls ungefähr 15 Jahre anhielt. Aktuell scheint sich das Gebiet in einer dritten Wachstumsphase zu befinden (vgl. Tab. 1).

1991 war das erste Jahr, in dem die NSoN mehr als 100 aktive Autoren zählte. Das FdS hatte diese Linie bereits 1990 überschritten. 2003 hat die NSoN die 1.000-Autoren-Marke dauerhaft überschritten. Das FdS hatte diese Linie 2007 überschritten, fiel aber 2008 wieder darunter.

| Jahr | „New Science of Networks“ | | | | | Szientometrie | | | | |
|------|---------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| | Anzahl Publikationen | Kumulative Anzahl Publikationen | Anzahl aktiver Autoren | Anzahl neuer Autoren | Kumulative Anzahl Autoren | Anzahl Publikationen | Kumulative Anzahl Publikationen | Anzahl aktiver Autoren | Anzahl neuer Autoren | Kumulative Anzahl Autoren |
| 1948 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1962 | | | | | | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 1965 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| 1967 | | | | | | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| 1968 | | | | | | 3 | 6 | 4 | 4 | 7 |
| 1969 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 6 | 12 | 7 | 6 | 13 |
| 1970 | 1 | 4 | 2 | 2 | 5 | 1 | 13 | 1 | 1 | 14 |
| 1971 | | | | | | 1 | 14 | 1 | 1 | 15 |
| 1972 | | | | | | 6 | 20 | 5 | 5 | 20 |
| 1973 | | | | | | 5 | 25 | 6 | 5 | 25 |
| 1974 | 1 | 5 | 1 | 1 | 6 | 8 | 33 | 9 | 8 | 33 |
| 1975 | 1 | 6 | 2 | 2 | 8 | 24 | 57 | 25 | 22 | 55 |
| 1976 | 2 | 8 | 4 | 4 | 12 | 21 | 78 | 22 | 19 | 74 |
| 1977 | 1 | 9 | 1 | 1 | 13 | 34 | 112 | 33 | 26 | 100 |
| 1978 | 1 | 10 | 2 | 2 | 15 | 24 | 136 | 27 | 23 | 123 |
| 1979 | 4 | 14 | 7 | 5 | 20 | 31 | 167 | 46 | 38 | 161 |
| 1980 | 1 | 15 | 1 | 1 | 21 | 27 | 194 | 39 | 27 | 188 |
| 1981 | 4 | 19 | 6 | 6 | 27 | 44 | 238 | 58 | 44 | 232 |
| 1982 | | | | | | 32 | 270 | 32 | 25 | 257 |
| 1983 | 1 | 20 | 1 | 1 | 28 | 32 | 302 | 42 | 29 | 286 |
| 1984 | 1 | 21 | 2 | 2 | 30 | 31 | 333 | 39 | 28 | 314 |
| 1985 | 2 | 23 | 6 | 6 | 36 | 38 | 371 | 51 | 35 | 349 |
| 1986 | 1 | 24 | 1 | 1 | 37 | 43 | 414 | 56 | 38 | 387 |
| 1987 | 5 | 29 | 13 | 12 | 49 | 40 | 454 | 53 | 39 | 426 |
| 1988 | | | | | | 58 | 512 | 78 | 49 | 475 |
| 1989 | 6 | 35 | 9 | 8 | 57 | 47 | 559 | 72 | 42 | 517 |
| 1990 | 10 | 45 | 19 | 19 | 76 | 57 | 616 | 100 | 76 | 593 |
| 1991 | 47 | 92 | 119 | 119 | 195 | 86 | 702 | 147 | 108 | 701 |
| 1992 | 59 | 151 | 176 | 176 | 371 | 138 | 840 | 210 | 161 | 862 |
| 1993 | 57 | 208 | 175 | 172 | 543 | 101 | 941 | 155 | 114 | 976 |
| 1994 | 71 | 279 | 223 | 212 | 755 | 122 | 1063 | 169 | 113 | 1089 |
| 1995 | 72 | 351 | 242 | 237 | 992 | 118 | 1181 | 202 | 133 | 1222 |
| 1996 | 93 | 444 | 286 | 271 | 1263 | 143 | 1324 | 235 | 168 | 1390 |
| 1997 | 88 | 532 | 256 | 235 | 1498 | 133 | 1457 | 225 | 138 | 1528 |
| 1998 | 106 | 638 | 358 | 345 | 1843 | 150 | 1607 | 246 | 165 | 1693 |
| 1999 | 100 | 738 | 356 | 335 | 2178 | 159 | 1766 | 277 | 180 | 1873 |
| 2000 | 131 | 869 | 415 | 394 | 2572 | 188 | 1954 | 323 | 237 | 2110 |
| 2001 | 204 | 1073 | 595 | 541 | 3113 | 192 | 2146 | 377 | 264 | 2374 |
| 2002 | 314 | 1387 | 860 | 730 | 3843 | 208 | 2354 | 393 | 266 | 2640 |
| 2003 | 381 | 1768 | 1034 | 885 | 4728 | 220 | 2574 | 402 | 278 | 2918 |
| 2004 | 570 | 2338 | 1531 | 1275 | 6003 | 207 | 2781 | 433 | 303 | 3221 |
| 2005 | 754 | 3092 | 1943 | 1518 | 7521 | 323 | 3104 | 658 | 479 | 3700 |
| 2006 | 976 | 4068 | 2388 | 1771 | 9292 | 354 | 3458 | 784 | 546 | 4246 |
| 2007 | 1098 | 5166 | 2646 | 1850 | 11142 | 428 | 3886 | 1024 | 760 | 5006 |
| 2008 | 1155 | 6321 | 2892 | 1928 | 13070 | 496 | 4382 | 996 | 680 | 5686 |

Tabelle 1: Anzahl Publikationen und Autoren der NSoN und des FdS

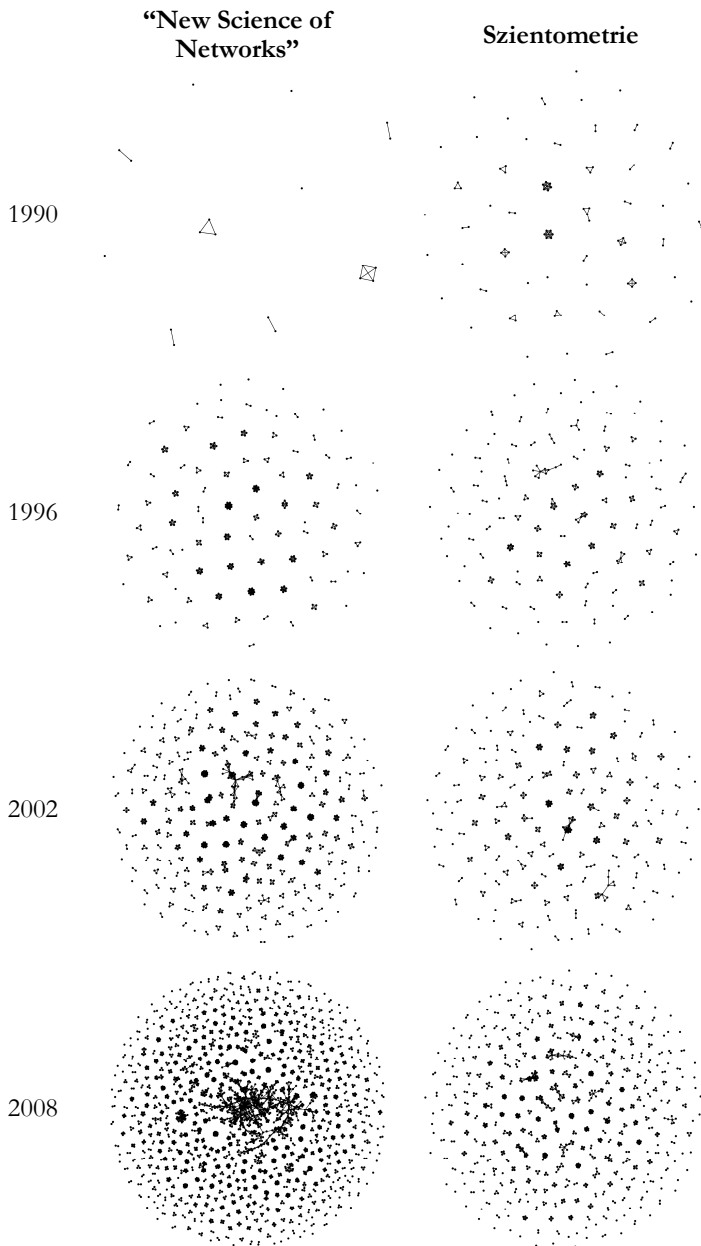


Abbildung 2: Evolution der Koautorenschaftsnetzwerke der NSoN und des FdS (ganze Zählung)

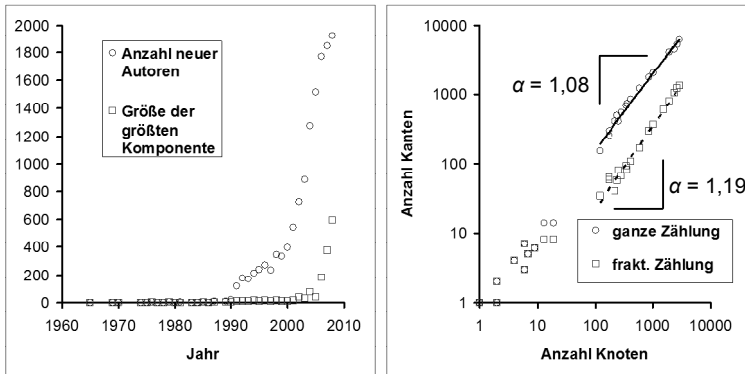


Abbildung 3: (a) Anzahl im Fachgebiet neuer Autoren und Größe der Gigantischen Komponente sowie (b) Verdichtung des Koautorenschaftsnetzwerks der „New Science of Networks“

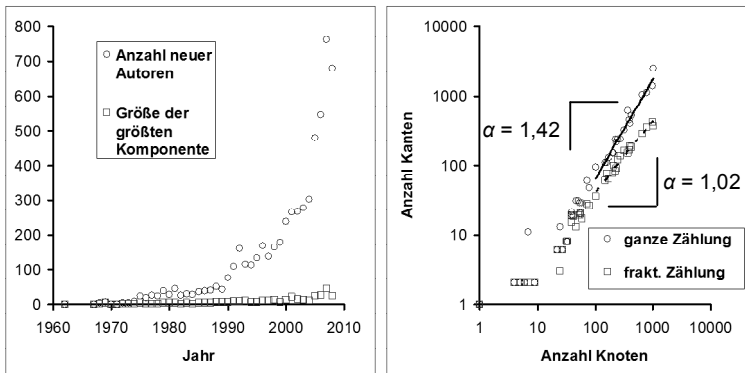


Abbildung 4: (a) Anzahl im Fachgebiet neuer Autoren und Größe der Gigantischen Komponente sowie (b) Verdichtung des Koautorenschaftsnetzwerks des Fachgebiets der Szientometrie

Ein Blick auf die Koautorenschaftsnetzwerke (Abb. 2) lässt erkennen, dass sich in der NSoN 2006 eine Gigantische Komponente herauszubilden begann, die 2008 595 von 2.892 und somit 21% aller aktiven Autoren dieses Jahres enthielt. Im FdS hingegen ist es zu keinem derartigen Emergenzprozess gekommen. Von den 996 aktiven Autoren in 2008 sind lediglich 23 in der größten Komponente. Dieses Ergebnis wird deutlich bestätigt durch den plötzlichen Anstieg der Größe der größten Komponente in Abb. 3a, nicht aber in Abb. 4a.

Bei Verwendung der Methode der ganzen Zählung und Schätzung des Verdichtungsparameters für alle Jahre scheint sich die Sozialstruktur beider Fachgebiete mit $a \approx 1,1$ zu verdichten (vgl. Tab. 2). Bei Betrachtung der Wachstumsperioden ab 1990 stellt sich jedoch heraus, dass das FdS sich ab dann ganz erheblich verdichtet ($a \approx 1,4$), während die NsoN sich über seine gesamte Lebensdauer konstant verdichtet hat ($a \approx 1,1$). Diese Ergebnisse sind jedoch nicht robust. Bei fraktioneller Zählung fallen beide Fachgebiete unter 1, wenn die gesamte Lebensdauer betrachtet wird. Doch für die Perioden ab 1990 verdichtet sich die NSoN maximal ($a \approx 1,2$), während das FdS nur knapp über 1 liegt (vgl. Abb. 3b und 4b, Tab. 2).

| “New Science of Networks” | Szientometrie |
|---|--|
| $a_{\text{NSoN}} 1965\text{-}2008 \text{ ganz} = 1,12 (R^2 = 99\%)$ | $a_{\text{FdS}} 1948\text{-}2008 \text{ ganz} = 1,10 (R^2 = 94\%)$ |
| $a_{\text{NSoN}} 1990\text{-}2008 \text{ ganz} = 1,08 (R^2 = 99\%)$ | $a_{\text{FdS}} 1990\text{-}2008 \text{ ganz} = 1,42 (R^2 = 96\%)$ |
| $a_{\text{NSoN}} 1965\text{-}2008 \text{ frakt.} = 0,84 (R^2 = 98\%)$ | $a_{\text{FdS}} 1948\text{-}2008 \text{ frakt.} = 0,93 (R^2 = 96\%)$ |
| $a_{\text{NSoN}} 1990\text{-}2008 \text{ frakt.} = 1,19 (R^2 = 98\%)$ | $a_{\text{FdS}} 1990\text{-}2008 \text{ frakt.} = 1,02 (R^2 = 97\%)$ |

Tabelle 2: Verdichtungsparameter für verschiedene Perioden und Zählmethoden (in Klammern das Bestimmtheitsmaß für die Parameterschätzung)

9. Zusammenfassung und Diskussion

Ausgehend von dem Modell von Bettencourt et al. (2006, 2008, 2009), dass sich die Etablierung eines Paradigmas in einem Übergang der Sozialstruktur von einem „flüssigen“ in eine „festere“ Phase ausdrückt, wurden die „New Science of Networks“ (NSoN) und das Fachgebiet der Szientometrie (FdS) untersucht. Dabei wurden für beide Fachgebiete verschiedene Ergebnisse erwartet. Die Erwartungen basierten auf bisherigen Analysen bzw. Experteneinschätzungen, dass sich die NSoN relativ rasch um das *Complex Networks*-Paradigma formiert hat, während sich das FdS aufgrund fehlender Kohärenz lange nicht etabliert zu haben scheint.

Der Unterschied ist wie erwartet messbar. Die Herausbildung der NSoN begann in den frühen 90ern, und ihr Wachstum beschleunigte sich nach der Veröffentlichung zweier Publikationen (Watts/Strogatz 1998; Barabási/Albert 1999), die bis Ende 2009 im *Web of Science*® jeweils über 4.000 Mal zitiert worden waren. Die Sozialstruktur des Gebietes verdichtete sich kontinuierlich, unabhängig von der Zählmethode. 2006 begann der Prozess der Herausbildung einer Gigantischen Komponente, in der ein großer Teil aller Autoren des Gesamtnetzwerks mindestens indirekt über Koautorenschaften verbunden sind. Dieses Ergebnis und die anfangs beschriebenen bibliometrischen Untersuchungen (Chen 2005; Shibata et al. 2007, 2008; Lazer et al. 2009) lassen sich überaus gut mit dem Modell in Einklang bringen.

Schwieriger ist dieses beim FdS: Dieses Fachgebiet ist älter und verzeichnete ebenfalls in den 90ern einen Wachstumsschub, wenn auch bereits seinen zweiten. Seine Sozialstruktur verdichtet sich, mindestens jedenfalls ab den 90ern. Allerdings zeigen ganze und fraktionelle Zählung deutlich unterschiedliche Trends auf. Eine Gigantische Komponente konnte nicht identifiziert werden. Dieses widerspricht nicht den Ergebnissen früherer bibliometrischer Analysen, wonach sich bereits in den 80ern eine Kristallisation um das Journal *Scientometrics* herum abzeichnete (Schubert/Maczelka 1993) und homogene Zitationsgewohnheiten, die auf eine eigene Identität des Fachgebiets schließen lassen, identifiziert wurden (Wouters/Leydesdorff 1994). Insgesamt hat sich das Fachgebiet etwa durch die Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten und die zunehmenden Bedeutung elektronischer Informationen sehr gewandelt. Vielmehr lässt sich aus den Experteneinschätzungen, die eine fehlende inhaltliche Schließung der Fachgebiets diagnostizieren (Glänzel/Schoepflin 1994; Larsen 2008), das Argument ableiten, Fachgebiete nicht nur anhand einer Metrik zu analysieren. Insofern sollte auch die hier angewandte Sozialstrukturanalyse mit anderen Methoden kombiniert werden, um zu verlässlicheren Aussagen bei der Diagnose von Emerging Science zu kommen.

Bildet sich im FdS deshalb keine Gigantische Komponente heraus, da Sozialwissenschaften generell eine stark fragmentierte Kollaborationsstruktur haben (Wouters/Leydesdorff 1994)? Zwar hat Moody (2004) sehr wohl eine Gigantische Komponente bestehend aus 42% von 87.731 Autoren in der Sozialstruktur der Soziologie

identifiziert. Allerdings hat er die Kollaborationsnetzwerke der Jahre 1989 bis 1999 aggregiert. Ist es also nur für die harte NSoN möglich, Koautorenschaften, wie hier geschehen, in einem 1-Jahres-Fenster zu untersuchen, in der eher weichen Szientometrie aber nicht? Dieses soll zukünftig untersucht werden.

Könnte es sein, dass das FdS einfach noch nicht groß genug für seinen sozialstrukturellen Phasenübergang ist? Muss die Szientometrie auch erst mehr als 2.000 aktive Autoren pro Jahr zählen, um eine Gigantische Komponente herauszubilden? Dieses würde der Selbstähnlichkeit des Wissenschaftssystems widersprechen. Emergente Prozesse sind nämlich gerade nicht skalenabhängig. Entsprechend sind die kritischen Punkte der Fachgebiete, die Bettencourt et al. (2008) diagnostiziert haben, auch nicht immer in derselben Größenordnung.

Der Arbeitsdefinition nach handelt es sich bei der NSoN um Emerging Science, da sie sich am kritischen Punkt der Herausbildung einer Gigantischen Komponente befindet. Das FdS ist demnach keine Emerging Science. Bei dieser Definition lässt sich Emerging Science erst identifizieren, wenn der im Vergleich zur Gesamtlebensdauer relativ kurze Emergenzprozess eingesetzt hat. Immerhin bietet der Verdichtungsparameter a einen frühzeitigen Anhaltspunkt. Als skalenunabhängiger Indikator (Katz 2000) ist er für die Diagnose einer selbstähnlichen Wachstumsdynamik prinzipiell geeignet. Wie sich hier und woanders (Bettencourt et al. 2009) gezeigt hat, haben alle Fachgebiete, die früher oder später eine Gigantische Komponente herausgebildet haben, einen Wert $a > 1$. Inwiefern dieser Indikator jedoch prognostische Aussagekraft hat, bleibt zu untersuchen. Dazu gehört auch ein Studium seiner Robustheit bei Variation der Zählmethoden, denn diese kurze Studie hat erneut gezeigt, dass die Zählmethode Auswirkung auf das Ergebnis hat (Gaufriau/Larsen 2005).

Schließlich bestätigen die in beiden Fachgebieten identifizierten Wachstumsperioden nicht nur Prices (1974) Beobachtung, dass mehrere logistische Wachstumsperioden zu einer exponentiellen Periode akkumulieren können, sondern verdeutlicht auch die Skalenunabhängigkeit des Emergenzphänomens. Fachgebiete können ihre Emergenz noch vor sich haben, während ihre Teilfachgebiete sich bereits herausgebildet haben. Letztendlich kommt man so zu einem Modell, in dem Wissenschaft immer dynamisch, permanent emergent und selbstorganisiert kritisch ist (Bak 1996; Van Raan 2000).

Danksagung

Der Autor dankt Andre Müller, Sybille Hinze, Diego Rybski und zahlreichen Kommentatoren auf drei Workshops und Kolloquien für ihre wertvollen Hilfestellungen.

Literatur

- Bak, P.: How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. New York: Copernicus Press 1996.
- Barabási, A.-L.; Albert, A.: Emergence of scaling in random networks. In: Science 286 (1999) S. 509-512.
- Besselaar, P. v. d.; Heimeriks, G.: Mapping research topics using word-reference co-occurrences: A method and exploratory case study. In: Scientometrics 68 (2006), S. 377-393.
- Bettencourt, L. M. A.; Cintrón-Arias, A.; Kaiser, D. I.; Castillo-Chávez, C.: The power of a good idea: Quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models. In: Physica A 364 (2006), S. 513-536.
- Bettencourt, L. M. A.; Kaiser, D. I.; Kaur, J.: Scientific discovery and topological transitions in collaboration networks. In: Journal of Informetrics 3 (2009), S. 210-221.
- Bettencourt, L. M. A.; Kaiser, D. I.; Kaur, J.; Castillo-Chávez, C.; Wojcik, D. E.: Population Modeling of the Emergence and Development of Scientific Fields. In: Scientometrics 75 (2008), S. 495-518.
- Börner, K.; Scharnhorst, A.: Visual conceptualizations and models of science. In: Journal of Informetrics 3

(2009), S. 161-172.

- Chen, C.: Measuring the movement of a research paradigm. In: Proceedings of SPIE 5669 (2005), S. 63-76.
- Courtial, J.: A cword analysis of scientometrics. In: Scientometrics 31 (1994), S. 251-260.
- Dorogovtsev, S. N.; Goltsev, A. V.; Mendes, J. F. F.: Critical phenomena in complex networks. In: Review of Modern Physics 80 (2008), S. 1275-1335.
- Freeman, L. C.: The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science. North Charleston: Booksurge 2004.
- Gauffriau, M.; Larsen, P. O.: Counting methods are decisive for rankings based on publication and citation studies. In: Scientometrics 64 (2005), S. 85-93.
- Glänzel, W.; Schoepflin, U.: Little scientometrics, big scientometrics ... and beyond?. In: Scientometrics 30 (1994), S. 375-384.
- Goffman, W.: Mathematical approach to the spread of scientific ideas - the history of mast cell research. In: Nature 212 (1966), S. 449-452.
- Katz, J. S.: Scale-independent indicators and research evaluation. In: Science and Public Policy 27 (2000), S. 23-36.
- Kuhn, T. S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1973.
- Larsen, P. O.: The state of the art in publication counting. In: Scientometrics 77 (2008), S. 235-251.
- Lazer, D.; Mergel, I.; Friedman, A.: Co-Citation of Prominent Social Network Articles in Sociology Journals: The Evolving Canon. In: Connections 29 (2009), S. 43-64.
- Leskovec, J.; Kleinberg, J.; Faloutsos, C.: Graphs over time: Densification laws, shrinking diameters and possible explanations. In: Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining (2005), S. 177-187.
- Mandelbrot, B. B.: Die fraktale Geometrie der Natur. Basel: Birkhäuser Verlag 1987.
- Merton, R. K.: The Matthew Effect in science, II: Cumulative advantage and the symbolism of intellectual property. In: ISIS 79 (1988), S. 606-623.
- Moody, J.: The structure of a social science collaboration network: Disciplinary cohesion from 1963 to 1999. In: American Sociological Review 69 (2004), S. 213-238.
- Newman, M. E. J.: Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. In: Physical Review E 64 (2001a), 016131.
- Newman, M. E. J.: Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. In: Physical Review E 64 (2001b), 016132.
- Persson, O.: The intellectual base and research fronts of JASIS 1986-1990. In: Journal of the American Society for Information Science 45 (1994), S. 31-38.
- Price, D. J. d. S.: Networks of scientific papers. In: Science 149 (1965), S. 510-515.
- Price, D. J. d. S.: Little Science, Big Science: Von der Studierstube zur Großforschung. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1974.
- Sawyer, R. K.: Social Emergence: Societies as Complex Systems. Cambridge: Cambridge University Press 2005.
- Schubert, A.; Maczelka, H.: Cognitive changes in scientometrics during the 1980s, as reflected by the reference patterns of its core journal. In: Social Studies of Science 23 (1993), S. 571-581.
- Shibata, N.; Kajikawa, Y.; Matsushima, K.: Topological analysis of citation networks to discover the future core articles. In: Journal of the American Society for Information Science and Technology 58 (2007), S. 872-882.
- Shibata, N.; Kajikawa, Y.; Takeda, Y.; Matsushima, K.: Detecting emerging research fronts based on topological measures in citation networks of scientific publications. In: Technovation 28 (2008), S. 758-775.
- Shibata, N.; Kajikawa, Y.; Takeda, Y.; Matsushima, K.: Comparative study on methods of detecting research fronts using different types of citation. In: Journal of the American Society for Information Science and Technology 60 (2009), S. 571-580.
- Stauffer, D.; Aharony, A.: Perkolationstheorie: Eine Einführung. Weinheim: VCH 1995.
- Stegbauer, C.: „Die Invasion der Physiker“ – Naturwissenschaft und Soziologie in der Netzwerkanalyse. In: Rehberg, K.-S. (Hrsg.): Die Natur der Gesellschaft: Verhandlungen des 33. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Kassel 2006. Frankfurt: Campus 2008, S. 1060-1077.
- Van Raan, A. F. J.: On growth, ageing, and fractal differentiation of science. In: Scientometrics 47 (2000), S. 347-362.
- Watts, D. J.; Strogatz, S. H.: Collective dynamics of “small-world” networks. In: Nature 393 (1998), S. 440-

- White, H. C.: Identity and Control: How Social Formations Emerge. 2. Auflage. Princeton: Princeton University Press 2008.
- White, H. D.; McCain, C. W.: Bibliometrics. In: Annual Review of Information Science and Technology 24 (1989), S. 119-186.
- White, H. D.; McCain, C. W.: Visualizing a discipline: An author co-citation analysis of Information Science, 1972-1995. In: Journal of the American Society for Information Science 49 (1998), S. 327-355.
- Wouters, P.; Leydesdorff, L.: Has Price's dream come true: Is scientometrics a hard science? In: Scientometrics 31 (1994), S. 193-222.